

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

AUSCULTACIÓN DE PRESAS Y SU APLICACIÓN AL ESTUDIO DE GRADIENTES HIDRÁULICOS

Pedro Jesús Extremera Aceituno

Alberto Santos Sanchez

Juan José Muñoz Perez

Ramón Lúquez Llorente

Eduardo Algora Esteban

Carlos Ballarín Bello

Antonio Sanchez Lallana

RESUMEN

Las características morfológicas de la Presa de Las Fitas, presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla. Así como las propias del terreno en que se ubica (compuesto por un sustrato terciario dominado por argilitas y limolitas con paquetes intercalados de arenisca de pequeño espesor), obliga a tener controladas en todo momento las filtraciones de agua a través del cimientado de la presa. Para ello se disponen de una serie de elementos de auscultación que de modo continuo están recogiendo información, tanto del cuerpo de presa como de sus interacciones con distintos elementos del contorno.

En base a los datos de necesario control para prevenir y salvaguardar la integridad de la presa, se diseñaron unas secciones tipo con la distinta instrumentación que se requería. Del mismo modo, aguas abajo y fuera del

cuerpo de presa, se disponen aforadores que permiten controlar las filtraciones a través de la cerrada.

Con el análisis de los datos de esta instrumentación, especialmente en la fase de puesta en carga, se obtienen una serie de conclusiones que van a condicionar la futura explotación del embalse.

-
- (1) Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Ldo. Ciencias del Mar, Ing. Técnico de Minas, Ing. Técnico OO.PP (Sociedad General de Obras, SA)
 - (2) Dr. Geología (Universidad de Cádiz)
 - (3) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Univ. de Cádiz)
 - (4) Ing. de Caminos, Canales y Puertos (Conf. Hidrog. del Ebro)
 - (5) Ing. Técnico Obras Públicas (Conf. Hidrográfica del Ebro)
 - (6) Ing. de Caminos, Canales y Puertos (Dragados, SA)
 - (7) Ldo. Geología (Control y Geología, SA)

1.- INTRODUCCIÓN

En una obra como la de la presa de Las Fitas es esencial el control del comportamiento de la presa. Tanto en las diversas fases de su construcción, como en el primer llenado y durante toda su explotación. Este control ayuda a comprobar si la estructura cumple con los objetivos de estabilidad, resistencia e impermeabilidad para el que fue diseñada.

Disponer de estos datos permite obtener una información muy valiosa en cuanto al diseño y construcción de presas de cara a poder realizar un control del proceso constructivo empleado. Especialmente en lo referente a la valoración de la calidad de los materiales, la idoneidad del método de puesta en obra y la homogeneidad de su distribución en toda la longitud de las presas. Todos ellos aspectos de especial importancia en las presas que nos ocupan dadas sus singulares tipologías. (Soriano, 2012)

En este tipo de presas de materiales sueltos, es vital disponer de la información referida para prevenir erosiones en el cuerpo de presa. Del mismo modo, en el terreno considerado se hace necesario contar con los datos de presiones y filtraciones para poder actuar, en caso de ser necesario, sobre el cimientado y evitar sifonamientos que repercutan en erosiones. (Extremera-Aceituno et al., 2013).

En este caso particular, donde la presa cuenta con una pantalla de bentonita-cemento a fin de evitar flujos de agua en la base del cimientado del dique (Sanz Santacruz, 2010). Resulta muy interesante disponer de elementos de auscultación antes y después de la mencionada pantalla de bentonita-cemento que permitan controlar el correcto funcionamiento de la misma.

Así pues, a los equipos de auscultación se les ha exigido una serie de características que deben reunir para garantizar el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Prevenir con suficiente antelación cualquier intervención correctora evitando roturas y desórdenes, mejorando la seguridad de la presa.
- Controlar los parámetros físicos tales como movimientos o subpresiones registradas y compararlos con los de proyecto a fin de comprobar si están dentro de un orden de magnitud admisible.
- Conseguir datos que faciliten la comprensión del estado y comportamiento de la presa durante su construcción y, sobre todo, en su puesta en carga. Lo que repercutirá en su futura explotación.

La disposición o localización de los distintos sensores y equipos de auscultación se ha elegido en base a los objetivos de control perseguidos y en las zonas de la estructura cuyo comportamiento interesa estudiar.

2.- MATERIAL Y METODOLOGÍA

La base del cimiento de la presa está representada por materiales sedimentarios que constituyen las facies de conjuntos detríticos de origen fluvial. Formado litológicamente por argilitas y limolitas con paquetes intercalados de arenisca de pequeño espesor. Se aprecia que la cimentación es muy impermeable, salvo en aquellos puntos donde se encuentren intercalaciones de arenisca. De ahí la necesidad de disponer una pantalla de bentonita-cemento que mantenga esa impermeabilidad para todo el cimiento (Extremera-Aceituno et al., 2015)

Y para tener garantía de que la pantalla de impermeabilización cumple con la función para la que fue diseñada, se disponen una serie de elementos de auscultación que nos aporta información sobre los siguientes parámetros:

- Auscultación hidráulica: carga hidrostática o nivel de embalse
- Control de filtraciones
- Control de presiones intersticiales
- Control de presiones totales y efectivas en el contacto con el cimiento
- Control de movimientos

Al tratarse de una presa del tipo de materiales sueltos con núcleo de arcilla, se piensa en un esquema de Auscultación por secciones transversales distribuidas a lo largo de su correspondiente perfil longitudinal. Se elige un sistema de auscultación sencillo y simplificado, donde se analizan el número de secciones de control a implantar y encaminado al control de seguridad de las mismas. Limitando su alcance al control de los principales parámetros básicos. (Gómez - López de Munain et al., 2012)

En la Figura 1 se muestra la distribución de secciones a lo largo del eje longitudinal de la presa y su correspondencia con la planta de la misma

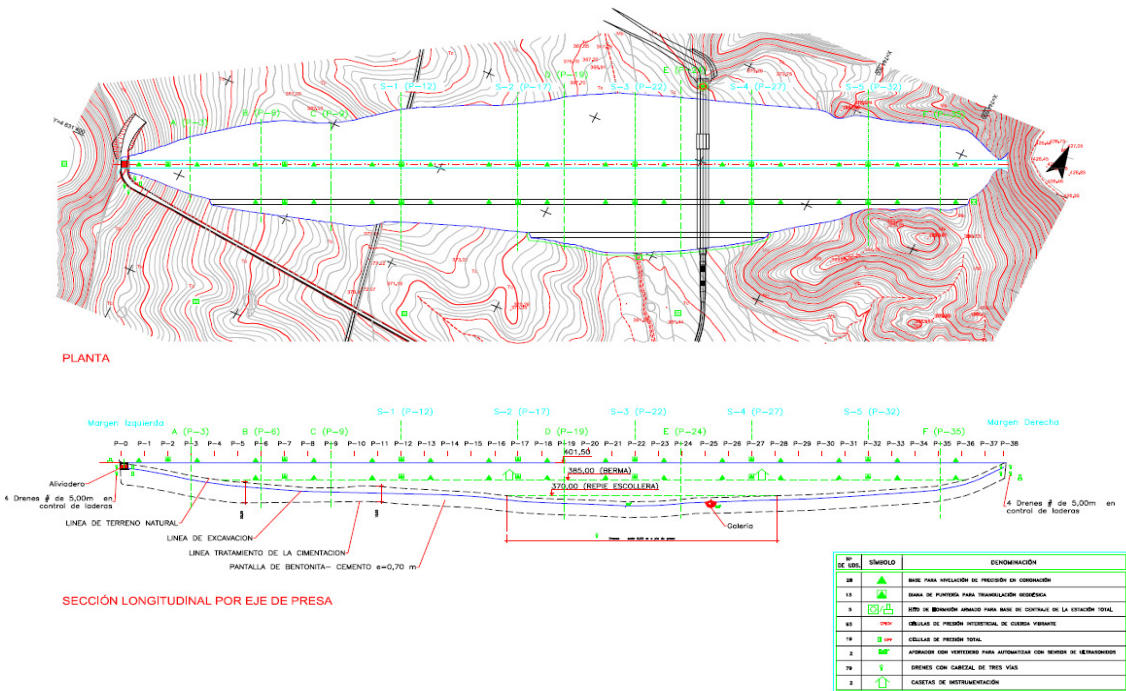


Figura 1.- Distribución de Secciones de Control

El ejemplo de una de estas secciones tipo queda ilustrado con la Figura 2:

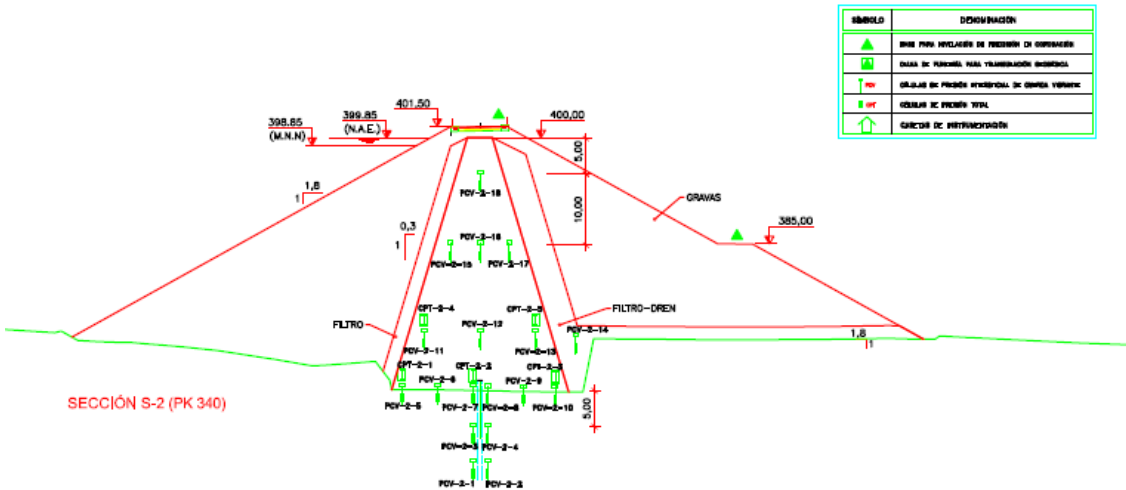


Figura 2.- Ejemplo de Sección de Control

Básicamente, los principales elementos de instrumentación en el campo de la auscultación hidráulica son:

- **Elementos para análisis de la Carga Hidrostática o Nivel de Embalse.** El Limnómetro (medidor de nivel de embalse) es una balanza de presión de precisión, constituida por un sensor de cuarzo (piezoeléctrico) de muy alta precisión, que se instala en la sala de

válvulas del desagüe de fondo. La captación de la presión es hidrostática y se instala durante la construcción de la presa a la cota de los desagües de fondo, mediante un tubo de diámetro 80-100 mm que va paralelo a las tuberías de desagüe de fondo, terminando en la sala de válvulas. Los datos suministrados por el Limnómetro son incorporados al Sistema Automático de Adquisición de Datos de Auscultación.

- **Elementos para el control de filtraciones.** El control de filtraciones se realiza mediante aforadores triangulares Thomson de acero inoxidable. Con este tipo de elementos, a través de una serie de drenajes correspondientes con sectores del talud de aguas abajo de la presa, se pretende tener un control de las filtraciones. Las cuales son recogidas en 3 estaciones de aforo dispuestas aguas abajo del cuerpo de presa.
- **Elementos para el control de presiones intersticiales.** Se realiza mediante piezómetros de cuerda vibrante centralizados vía cable en el pie del talud de aguas abajo de la respectiva sección de control, donde se instala una arqueta de recogida del cableado
- **Elementos para el control de presiones totales y efectivas en el contacto con el cimiento.** El control de presiones en el fondo del núcleo se realiza mediante células de presión total de cuerda vibrante centralizadas vía cable, de forma similar a los piezómetros. Su lectura se realizará en las mismas centrales de lectura de los piezómetros y con el mismo equipo portátil.

3.- RESULTADOS

De la representación de los registrados por el limnómetro en la fase de puesta en carga se obtiene el siguiente gráfico que muestra los 5 escalones que se establecieron durante el primer llenado de la presa.

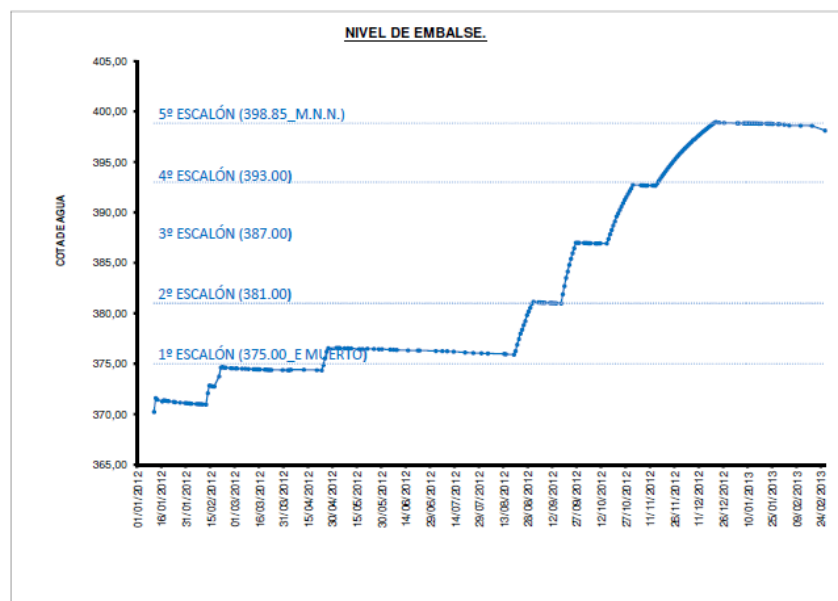


Gráfico 1.- Registro de Datos del Limnógrafo

Tabla 1.- Control de Filtraciones en Aforadores

[illegible]

Tabla 2.- Datos de Auscultación en Sección de Control 2

PRUEBA DE LAS FÓRMULAS COMBINADAS DE ALGUNAS VARIACIONES										PRUEBA DE LAS FÓRMULAS COMBINADAS DE ALGUNAS VARIACIONES										
SELECCIÓN DE COMBINACIÓN (P. 4.1), P. 4.2, P. 4.3, P. 4.4										SELECCIÓN DE COMBINACIÓN (P. 4.1), P. 4.2, P. 4.3, P. 4.4										
PRUEBA	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7	PRUEBA 8	PRUEBA 9	PRUEBA 10	PRUEBA 11	PRUEBA 12	PRUEBA 13	PRUEBA 14	PRUEBA 15	PRUEBA 16	PRUEBA 17	PRUEBA 18	PRUEBA 19	PRUEBA 20
PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1	PRUEBA 1
PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2	PRUEBA 2
PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3	PRUEBA 3
PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4	PRUEBA 4
PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5	PRUEBA 5
PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6	PRUEBA 6
PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7	PRUEBA 7
PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8	PRUEBA 8
PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9	PRUEBA 9
PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10	PRUEBA 10
PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11	PRUEBA 11
PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12	PRUEBA 12
PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13	PRUEBA 13
PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14	PRUEBA 14
PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15	PRUEBA 15
PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16	PRUEBA 16
PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17	PRUEBA 17
PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18	PRUEBA 18
PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19	PRUEBA 19
PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20	PRUEBA 20

4.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es importante hacer un análisis de los datos obtenidos por la instrumentación desafectándolos de factores ambientales como la lluvia, que puede distorsionar los valores registrados por aforadores y piezómetros. De este modo los valores registrados no serían correspondientes a filtraciones de agua a través de la presa, sino percolaciones de agua de lluvia a través del terreno. Esto es fácil de determinar a través de los registros de la estación meteorológica

Del mismo modo, en la fase de construcción, la puesta en obra de los materiales introducía porcentajes de humedad que eran registrados por los sensores sin que hubiera ninguna filtración asociada.

Una vez depurados estos datos, se obtienen el siguiente modelo de gráfico para las distintas secciones tipo antes analizadas.

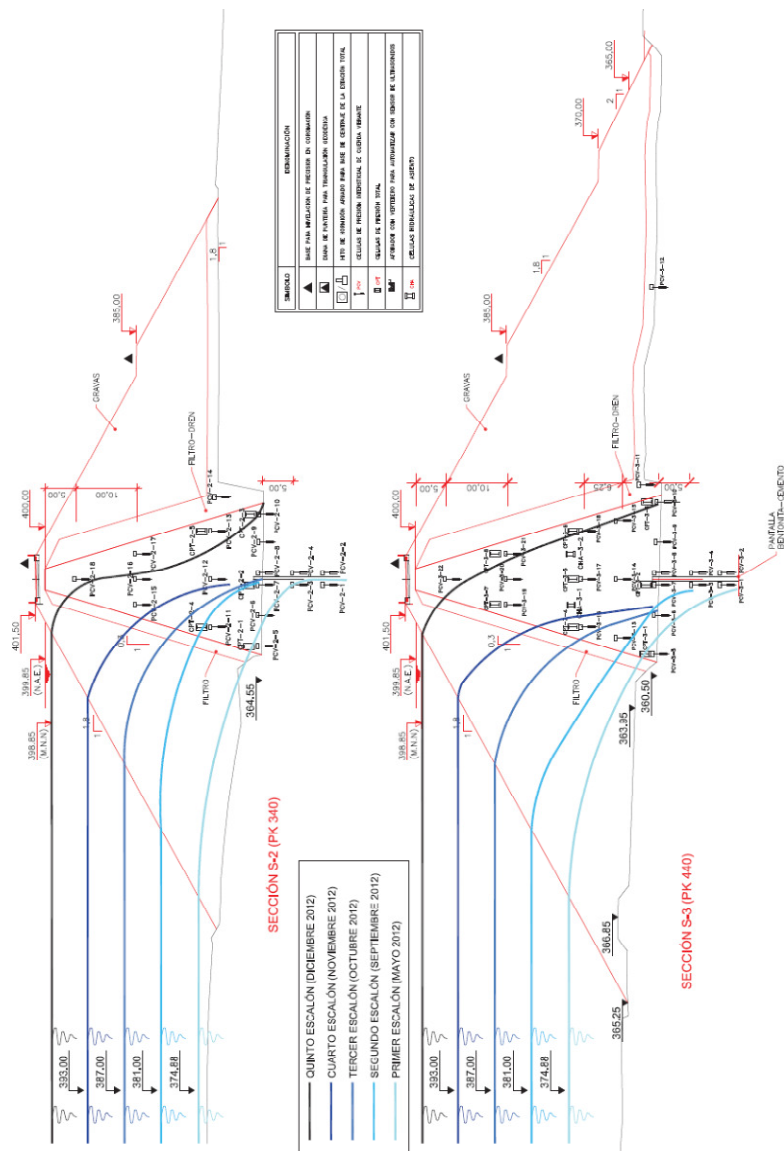


Grafico 2.- Representación de Líneas Piezométricas según Nivel de Embalse

Del análisis de estos gráficos se pueden extraer varias conclusiones:

- El núcleo arcilloso de la presa cumple su función impermeabilizante, observándose claramente como se disminuye la línea de presión hidrostática obtenida a través de los piezómetros.
- La pantalla de bentonita-cemento impide los flujos de agua a través del contacto entre presa y cimiento. Y, solidariamente con el núcleo de arcilla, agota la línea de presión hidrostática aguas abajo del elemento impermeabilizante
- El material drenante, distribuido en tapiz horizontal y vertical, como se apreciaba en el gráfico de la sección tipo, contribuye a liberar las presiones intersticiales. Y, con ello mejora, la estabilidad de la presa.
- Es de suma importancia el análisis de los registros de los aforadores por dos aspectos:
 - o Los caudales en ellos aforados, para identificar alguna posible filtración que pudiera poner en peligro la estructura. Además, como cada registro se corresponde con un sector de la presa, sería relativamente fácil localizar la posible filtración
 - o La calidad del agua recogida: un agua turbia puede identificar con arrastre de finos. Y esto llevar asociada la erosión del cimiento o el cuerpo de presa, con el riesgo que ello supone para seguridad de la infraestructura

El conocimiento de estos datos condiciona la manera de gestionar la explotación de la presa. De este modo, en el caso hipotético que a partir de una cierta cota se apreciaran flujos de agua, sería conveniente explotar por debajo de este nivel de seguridad y acometer actuaciones como inyecciones para sellar la posible fuga.

5.- REFERENCIAS

Extremera Aceituno, P.J, Santos Sanchez, A., Muñoz Pérez, J.J., Espejo Almodovar, F. (2015). Mejora y Corrección de la Impermeabilización en el Cimiento de la Presa de Las Fitass. X Jornadas Españolas de Presas. In press

Extremera Aceituno, P.J, Santos Sanchez, A., Muñoz Pérez, J.J., Lúquez Llorente, R., Algora Esteban, E., Ballarín Bello, C., Sánchez Lallana, A., Vallés Morán, F.J. (2013). Sostenibilidad del Proyecto de Regulación y Modernización del Canal de Terreu. III Jornadas de Ingeniería del Agua. pp 301-308

Antonio Soriano (2012). Problemas Geotécnicos de Presas. Jornada sobre Geotécnia y Auscultación de Presas, Confederación Hidrográfica del Ebro, Junio 2012

Gómez López de Munain, R, Membrillera López, M, Arguedas, L.A. (2012). Auscultación Topográfica e Instrumental de Presas y Embalses. Area de Seguridad e Infraestructuras de Infraestructuras y Geotecnología, Dirección Técnica, Confereración Hidrográfica del Ebro.

Sanz Santacruz, M., Pérez Estébanez, A., Extremera Aceituno, P.J., Ballarín Bello, C., Asensio Ramírez, L.E., Andreu Mir, M., Bautista Alonso, C., Lúquez Llorente, R. (2010). Tratamiento de la Cimentación en la Presa de Las Fitas. IX Jornadas Españolas de Presas.